Über die Ausbreitung der Entladungen im Elektronenzählrohr.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
einer Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen.

Vorgelegt von
Emil Greiner

1933

Gatzer & Hahn, Graphische Werkstätten, Schramberg (Schwarzwald)

Über die Ausbreitung der Entladungen im Elektronenzählrohr.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
einer Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen.

Vorgelegt von
Emil Greiner

1933

Gatzer & Hahn, Graphische Werkstätten, Schramberg (Schwarzwald)

Dekan: Prof. Dr. F. Machatschki.

Referent: Prof. Dr. H. Geiger.

Tag der mündlichen Prüfung: 26. Jan. 1933.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
§ 1. Problemstellung.	1
§ 2. Versuchsanordnung.	2
§ 3. Nachweis der Ausbreitung der Entladungen.	2
§ 4. Ausbreitungsmöglichkeiten.	4
§ 5. Nachweis einer kurzwelligen Strahlung.	4
§ 6. Absorptionsmessungen an der Strahlung.	6
§ 7. Die mittlere Energie der Elektronen in verschiedenen Entfernungen vom Zähldraht.	9
§ 8. Theoretische Auswertung der Absorptionsmessungen.	10
Zusammenfassung.	12

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41550010_0038

§ 1. Problemstellung. Das Geiger-Müllersche Zählrohr[1]) ist in der Normalschaltung — positiver Draht, negative Wandung — charakterisiert durch die Existenz eines Spannungsbereiches, in dem bei konstanter äußerer Einstrahlung die gezählte Teilchenzahl von der am Zählrohr liegenden Spannung unabhängig ist. Die bisherigen Arbeiten, die sich mit dem Zählrohr befaßten, ergaben zunächst, daß der Zählbereich nicht an eine Vorbehandlung des Innendrahtes gebunden ist[2]). Aber auch die Oberflächenbehandlung des Außenzylinders ist für das richtige Arbeiten des Zählrohres unwesentlich, wie W. Schulze[3]) zeigte, der nach Ausheizung der Elektroden einen wohlausgebildeten Zählbereich gemessen hat. Bezüglich des Abreißens der Entladungen innerhalb des Zählbereichs kann nach den Messungen von Medicus[4]) und Hummel[5]) angenommen werden, daß die Entladung im Zählrohr so lange besteht, bis die erzeugte Elektrizitätsmenge, die vom Zähldraht wegen des hohen Ableitwiderstandes nur relativ langsam abfließt, eine solche Aufladung erzeugt, daß durch die Felderniedrigung der Stoßionisationsvorgang aufhört.

Bei der Bedeutung, die das Zählrohr in vielen Untersuchungen heute einnimmt, ist es von Wichtigkeit, den Entladungsvorgang selbst näher zu untersuchen. Insbesondere ist die Frage noch offen, ob der Stromdurchgang auf ein relativ enges Volumen beschränkt ist, oder ob er sich

---

[1]) H. Geiger u. W. Müller, Phys. ZS. **29**, 839, 1928; **30**, 389, 1929.

[2]) H. Kniepkamp, ebenda **30**, 237, 1929; G. Stetter, Verh. d. D. Phys. Ges. **12**, 26, 1931; G. Medicus, ZS. f. Phys. **74**, 450, 1932; J. Hummel, ebenda **76**, 483, 1932; L. Curtiss, Bur. of Stand. Journ. of Res. **4**, 601, 1930; **5**, 115, 1930.

[3]) W. Schulze, ZS. f. Phys. **78**, 92, 1932.

[4]) l. c. Anmerkung 3.

[5]) l. c. Anmerkung 3.

über größere Teile des Zählrohres erstreckt. Diese Frage soll durch die folgenden Versuche geklärt werden.

§ 2. Versuchsanordnung. Zur Untersuchung wurden zwei geometrisch völlig gleiche Zählrohre Z_1 und Z_2 (Fig. 1) mit konischen Metallschliffen C_1 und C_2 versehen. Mit diesen wurden sie in ein Hartgummirohr H eingesetzt, das die Innenräume der Zählrohre verband. Durch Verlängerungsrohre aus Hartgummi konnte der Abstand D zwischen den offenen Zählrohrenden willkürlich gewählt werden. Die Zähldrähte (Stahldrähte von 0,2 mm Durchmesser) waren auf der einen Seite durch 3 mm breite und 5 mm hohe Hartgummistege G_1 und G_2 gehalten und auf der anderen Seite in den Hartgummistopfen P_1 und P_2 befestigt.

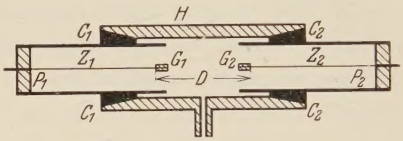

Fig. 1.
Doppelzählrohr zur Untersuchung des Ausbreitungsvorgangs.

Die Wandung war ein Messingzylinder von 2 cm Durchmesser. Die wirksame Länge der Zählrohre betrug 5,4 cm, die Gasfüllung wurde in P_2O_5 getrocknet. Das Arbeiten der Zählrohre wurde durch Kolhörstersche Schlingenelektrometer[1]) geprüft. Die Auszählung der Entladungen erfolgte mit Verstärker und Zählwerk. Die von Anodenbatterien gelieferte Hochspannung wurde mit einem Lohfertschen Elektrometer[2]) gemessen, dessen Empfindlichkeit bei 1500 Volt auf 2,5 Volt pro Skalenteil einreguliert wurde. Wenn nichts Besonderes bemerkt wird, wurden die Entladungen gezählt, die die kosmische Ultrastrahlung und die Umgebungsstrahlung auslöste.

§ 3. Nachweis der Ausbreitung der Entladungen. Bei den ersten Versuchen hatten die offenen Enden der beiden Zählrohre einen Abstand von $D = 12$ mm (Fig. 1). Die Gasfüllung bestand aus Luft von 6 cm Hg Druck. Die Fäden der Schlingenelektrometer wurden auf dieselbe Skale so projiziert, daß sie sich deckten. Zunächst wurden die beiden Zählrohre einzeln auf richtiges Arbeiten geprüft. Bei gleicher Spannung waren die Ausschläge beider Elektrometer in Volt gemessen gleich groß, und zwar gleich der

[1]) W. Kolhörster, Phys. ZS. **26**, 654, 1925.
[2]) H. Lohfert, Dissertation Tübingen 1933.

Differenz V_d aus angelegter Spannung und Einsatzspannung[1]). Wurde nun an beide Zählrohre gleichzeitig Spannung gelegt, so erfolgten die Ausschläge der Schlingenelektrometer stets genau gleichzeitig. Die Ausschlagsweite war für beide Elektrometer gleich groß und gleich der bei einer einfachen Entladung in einem Zählrohr bei gleicher angelegter Spannung. Dieser Versuch zwingt zu dem Schluß, daß unter den gewählten Bedingungen jede Entladung in dem einen Zählrohr eine gleichzeitige Entladung in dem anderen Zählrohr hervorruft. Erhöhung des Druckes in den Zählrohren änderte an der Erscheinung nichts.

Es war zu prüfen, ob durch Influenzwirkung gleichzeitige Entladungen vorgetäuscht werden konnten. Eine Influenz konnte nur zwischen den Zählrohren selbst erfolgen, denn die Zuleitungen zu den Elektrometern waren durch geerdete Metallrohre geführt. War die Spannung an Rohr Z_1 über und an Rohr Z_2 unter der Einsatzspannung, so zeigte das an Z_1 angeschlossene Elektrometer nur die durch Z_1 gehende Strahlung an, dagegen das an Z_2 angeschlossene Elektrometer nur die durch eine Entladung in Z_1 entstehende Influenzwirkung. Die hiervon herrührenden Ausschläge entsprachen 1 bis 2 Volt. Wurde andererseits an Z_2 die gleiche Spannung wie an Z_1 gelegt, so war, bei einer Entladung in Z_1, die Ausschlagsgröße des Elektrometers an Z_2 30 Volt. Die Influenzwirkung zwischen den Zählrohren beträgt demnach nur einen kleinen Bruchteil der ursprünglichen Ausschlagsgröße.

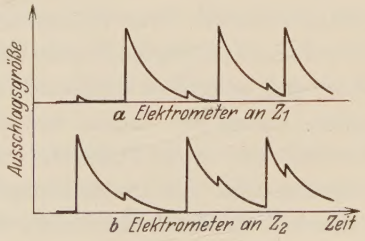

Fig. 2.
Der Spannungsverlauf an den beiden Elektrometern.

Bei einem weiteren Versuch wurde zwischen die Zählrohre (Fig. 1) eine dünne Hartgummischeibe eingebaut, die die beiden Zählrohre völlig voneinander trennte. Fig. 2 zeigt für diesen Fall den Spannungsverlauf an den Elektrometern. Die Fig. 2a z. B. ist so zu deuten, daß die großen Ausschläge den Entladungen im Zählrohr Z_1 entsprechen, die kleinen Ausschläge aber der Influenzwirkung von Rohr Z_2 zuzuschreiben sind.

Für die weiteren Versuche sei angemerkt, daß in all den Fällen, in denen Influenzausschläge beobachtet werden, die Entladung sich nicht von einem Zählrohr in das andere ausgebreitet hat (s. § 5).

---

[1]) G. Medicus, ZS. f. Phys. **74**, 350, 1932. Diese Gleichheit habe ich durch eigene Versuche voll bestätigt gefunden.

§ 4. Ausbreitungsmöglichkeiten. Für die Ausbreitung der Entladungen sind grundsätzlich drei Möglichkeiten vorhanden, die auch gemeinsam bestehen können.

1. Es können beim Eintritt eines Strahlenteilchens in dem einen Zählrohr Sekundärelektronen ausgelöst werden, die solche Bewegungsrichtungen haben, daß sie im anderen Zählrohr ionisieren und einen Stromstoß einleiten.

2. Es könnte die bei einer Entladung entstehende Verbreiterung des Ionisierungskanals so groß sein, daß dadurch Elektronen und Ionen in den anderen Rohrteil hinüberkommen. Die Breite des Ionisierungskanals wird gegen den Draht hin zunehmen, sie wird durch die Stromdichte in Drahtnähe bestimmt sein (vgl. normaler Kathodenfall).

3. Es könnte die bei dem Entladungsvorgang in einem Zählrohr durch Elektronenstoß angeregte weiche Röntgen- bzw. Ultraviolettstrahlung[1]) und die Strahlung, die bei der Neutralisation der Ionen entsteht[2]), durch lichtelektrischen Effekt am Gas oder an der Wandung des zweiten Zählrohres Elektronen frei machen, die dann den Entladungsvorgang einzuleiten vermögen.

Im folgenden werden Versuche beschrieben, die eine Entscheidung zwischen den drei Möglichkeiten geben.

§ 5. Nachweis einer kurzwelligen Strahlung. Es wurde zwischen die beiden Zählrohre (Fig. 1), die bei diesen Versuchen einen Abstand von $D = 12$ mm hatten, eine dünne Celluloidfolie als Trennungswand eingesetzt. Wenn sich auch jetzt noch eine Entladung von dem einen Zählrohr in das andere ausbreitete, mußte dies durch die Folie hindurch erfolgen. Ein Versuch mit einer Folie, die braungelbe Interferenzfärbung der ersten Ordnung zeigte und demnach ungefähr 140 mμ dick war, trennte die beiden Zählrohre, in denen der Druck 6 cm betrug, vollständig, d. h. die Entladungen des einen Rohres waren am Elektrometer des anderen nur durch ihre Influenzwirkung festzustellen (s. § 3, Fig. 2). Danach wurden sehr dünne Celluloidfolien, die im reflektierten Licht schwarz, eisengrau oder blaßgelb erschienen, verwendet. Es zeigte sich dann, daß durch die Folien der kleinsten Dicke (etwa 20 mμ) alle Entladungen von einem Zählrohr ins andere übergriffen. Mit wachsender Dicke der Folien (bis 100 mμ) nahm die Zahl der Entladungen, die sich von einem Zählrohr ins andere ausbreiteten, ab. Die beiden Zählrohre können demnach durch äußerst dünne Celluloidfolien voneinander getrennt werden, ohne daß dadurch

[1]) F. L. Mohler, Phys. Rev. **28**, 46, 1926. Über die Anregungsmöglichkeiten siehe E. Lau u. O. Reichenheim, Ann. d. Phys. **12**, 52, 1932.

[2]) J. Tayler, Phil. Mag. (7) **3**, 753, 1927.

das Übergreifen der Entladungen von einem Zählrohr ins andere verhindert wird.

Über weitere Messungen mit dünnen Celluloidfolien wird in § 6 berichtet.

Es soll nun zunächst die erste in § 4 genannte Erklärungsmöglichkeit diskutiert werden. Dort wurde der Gedanke ausgesprochen, daß die Ausbreitung durch Sekundärstrahlen erfolgen könnte, die durch das primäre Strahlenteilchen am Gas oder an der Wandung ausgelöst wurden. Nun sind die vorliegenden Messungen im wesentlichen mit kosmischer Strahlung ausgeführt worden, von der bekannt ist, daß die Sekundärstrahlen sehr hohe Energie besitzen. Diese Sekundärstrahlen würden natürlich nicht merklich von den dünnen Celluloidfolien abgebremst. Relativ dünne Celluloidfolien verhindern aber die Ausbreitung der Entladungen völlig, deshalb scheidet diese Erklärungsmöglichkeit aus.

Die zweite Möglichkeit des § 4, bei der es sich um die Verbreiterung des Ionisierungskanals handelt, wird ebenfalls durch die oben beschriebenen Versuche mit den Celluloidfolien ausgeschlossen. Denn bei den herrschenden Versuchsbedingungen (6 cm Druck, unelastische Stöße) nehmen die Elektronen auf einer freien Weglänge, wie eine einfache Rechnung zeigt, kaum mehr Energie auf, als 20 e-Volt entspricht (vgl. § 7). Für solche Elektronen ist aber auch die allerdünnste Celluloidfolie noch völlig undurchlässig. Nur wenn Elektronen mit einer Energie, die größer als 1000 e-Volt ist, auf die Folie auftreffen würden, wäre mit der Möglichkeit zu rechnen, daß sie die Folie durchsetzen. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten solcher Elektronen ist gering.

Durch die Gesamtheit der bisher beschriebenen Versuche ist entschieden, daß die seitliche Ausbreitung der Entladungen durch eine elektromagnetische Strahlung bewirkt wird. Sie entsteht während des Entladungsvorganges, breitet sich von dem einen Zählrohr in das andere hinein aus und löst an dessen Wandung oder an dem darin befindlichen Gas lichtelektrisch die Entladung aus. Da diese Ausbreitung von einem Zählrohr in das andere auch bei großem Abstand der Zählrohre und bei hohem Druck vor sich geht, ist notwendig zu folgern, daß auch in einem einfachen Zählrohr bei jedem Stromstoß der ganze Innenraum von der Entladung erfüllt wird. Dadurch wird die allgemeine und zunächst unerwartete Erfahrung bestätigt, daß ein Zählrohr desto sicherer arbeitet, je größer sein Volumen ist. Quantitative Angaben über die Absorption der Strahlung unter bestimmten Verhältnissen werden in § 6 gemacht.

Es sei noch ein Ausbreitungsversuch angeführt, der in einer von der Normalschaltung abweichenden Schaltung ausgeführt wurde. An der

Wandung lag hohe positive Spannung, der Zähldraht war über einen Widerstand (etwa 10^9 Ohm) geerdet. In dieser Schaltung nimmt bei konstanter Strahlenquelle die Teilchenzahl linear mit der Spannung zu. Wie J. N. Hummel[1]) gezeigt hat, liegt der tiefere Grund dafür darin, daß der Zähler nur dann anspricht, wenn ein Elektron in unmittelbarer Nähe des Zähldrahtes ausgelöst wird[2]). In einem solchen Zählrohr breiteten die Entladungen — bei Wasserstoffüllung von 7 cm Druck und bei einem Abstand von $D = 4$ cm — sich nicht seitlich aus, obwohl die bei einem Stromstoß übergehende Elektrizitätsmenge mehr als doppelt so groß gewählt worden war wie bei positivem Draht, bei dem sich unter gleichen Verhältnissen alle Entladungen ausbreiteten. Dieses Ergebnis ist verständlich, weil die Wandung auf hohem positivem Potential ist und deshalb die Strahlung dort keine Elektronen frei machen kann.

Daß bei negativem Draht ebenfalls Strahlung entsteht, zeigt ein Versuch, bei dem in Rohr Z_1 der Draht positiv und in Rohr Z_2 negativ war (Fig. 1). Jede Entladung in Z_2 führte nämlich zu einer gleichzeitigen Entladung in Z_1. In umgekehrter Richtung von Z_1 nach Z_2 war, wie nun ohne weiteres verständlich ist, praktisch keine Ausbreitung zu bemerken[3]).

§ 6. Absorptionsmessungen an der Strahlung. Nachdem gesichert ist, daß die seitliche Ausbreitung der Entladungen durch eine elektromagnetische Strahlung bewirkt wird, handelt es sich darum, ihre Wellenlänge festzustellen. Da nun bei jedem Entladungsvorgang in dem einen Zählrohr nur wenige Quanten in das andere Zählrohr hineingestrahlt werden, erscheint zunächst keine Möglichkeit für eine Wellenlängenbestimmung vorhanden zu sein. Auf folgende Weise war aber eine gewisse Eingrenzung möglich. Zunächst zeigt die Rechnung (s. § 7), daß die Elektronen in dem hohen Feld dicht am Zähldraht etwa 20 Volt auf einer freien Weglänge

[1]) Siehe besonders J. Hummel, ZS. f. Phys. **76**, 483, 1932.

[2]) Diese Eigenschaft des Zählrohrs mit negativem Zähldraht läßt sich zur Untersuchung schwächster Ultraviolettstrahlung verwenden. Die Strahlung wird direkt auf den Draht geworfen. Durch geeignete Wahl des Drahtdurchmessers und der Spannung am Zählrohr bildet der Zähldraht und seine nächste Umgebung eine äußerst scharfe Ausblendung, die bei Spektraluntersuchungen zum Nachweis schwacher Linien mit Vorteil verwendet werden kann. Versuche, dieses Verfahrens auszubauen, waren im Gange, wurden aber abgebrochen, als die Veröffentlichung von G. L. Locher, Phys. Rev. **42**, 525, 1932, erschien, in der auf diese Anwendung des Zählrohres hingewiesen wurde. (Vgl. auch R. Fleischmann, Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Mathm.-Phys. Kl. II, 1931, Nr. 11.)

[3]) Die photographischen Aufnahmen, die S. P. Farwell, Phys. Rev. **4**, 31, 1914, von der positiven und negativen Korona gemacht hat, können nach diesen Versuchen gedeutet werden.

aufnehmen und somit beispielsweise die ultravioletten Banden des N_2- und O_2-Moleküls anregen können (600 bis 1200 Å). Ferner ergaben besondere Versuche, bei denen zwischen den Zählrohren, deren offene Enden 2 cm voneinander abstanden, eine 1 mm dicke Flußspatplatte oder eine 20 μ dicke Glimmerfolie eingesetzt war, daß weder in Luft noch in Wasserstoff ein Übergreifen von Entladungen durch jene Stoffe hindurch erfolgte. Daher ist zu schließen, daß die Strahlung kurzwelliger ist als 1250 Å und somit auf einen Wellenlängenbereich von etwa 600 bis 1250 Å eingegrenzt werden kann. Die Strahlung wurde nun durch Absorptionsmessungen in Celluloid und in mehreren Gasen bei verschiedenem Druck genauer untersucht.

Es müssen einige Bemerkungen zur angewandten Meßmethodik vorausgeschickt werden. Der Druck in den Zählrohren und ihr gegenseitiger Abstand sei so gewählt, daß nur ein Teil der Entladungen sich von Z_1 nach Z_2 ausbreitet. Wenn dann innerhalb des Zählbereichs die Spannung am Zählrohr erhöht wird, nimmt, wie vorbereitende Messungen zeigten, die Zahl der Entladungen, die sich von Z_1 nach Z_2 ausbreiten, linear mit der Spannung zu, vorausgesetzt, daß alle anderen Bedingungen festgehalten werden. Dies ist verständlich, weil mit wachsender Spannung auch die pro Entladungsstoß übergehende Elektrizitätsmenge anwächst, infolgedessen auch die Zahl der Anregungsprozesse und entsprechend die Zahl der in das zweite Zählrohr gestrahlten Quanten zunimmt. Auch durch Parallelschaltung von Kapazitäten zum einen Zählrohr konnte die prozentuale Ausbreitung von diesem in das andere Zählrohr erhöht werden. Um also bei den Absorptionsmessungen vergleichbare Werte zu erhalten, mußte bei variiertem Druck oder variierter Foliendicke die Spannung an den beiden Zählrohren stets gleich hoch über der Einsatzspannung gewählt werden. Ob diese Forderung erfüllt war, zeigte die Beobachtung der Elektrometerausschläge (s. § 3). Außerdem sei bemerkt, daß vergleichbare Werte nur zu erzielen waren mit Gasen von einheitlichem Reinheits- und Trocknungsgrad. Zur Feststellung eines Punktes der folgenden Kurven wurden so viele Entladungen gezählt, daß der statistische Fehler kleiner als 5% wurde.

Die Messungen wurden mit der Anordnung der Fig. 1 ausgeführt. Durch passende Verlängerung des Hartgummizwischenstückes konnte die Absorption in Gasen in ein günstiges Druckgebiet gelegt werden. Bei einem Teil der Versuche wurde die Umgebungsstrahlung durch die Strahlung eines Radiumpräparates, das in gleicher Entfernung von beiden Zählrohren aufgestellt war, verstärkt. Gemessen wurde zunächst die Zahl n_1 der Ent-

ladungen pro Minute, die in Rohr Z_1 sich ergab, wenn Draht und Hülle von Rohr Z_2 geerdet waren; dann die entsprechende Größe n_2, wenn Rohr Z_2 bei derselben Spannung wie Rohr Z_1 zählte. Aus diesen beiden Zahlen kann die Ausbreitungswahrscheinlichkeit a errechnet werden, denn die Zahl n_1 ist wegen der gleichen geometrischen Größe als Entladungszahl für Rohr Z_2 zu nehmen. Daher ist $a = (n_2 - n_1)/n_1$. In Fig. 3 ist die Ausbreitungswahrscheinlichkeit a in Abhängigkeit vom Druck für verschiedene Gase aufgetragen. Die Meßbedingungen für die einzelnen Kurven sind unter der Figur angegeben. Die zahlenmäßigen Verhältnisse enthält für den Fall der Kurve 1 die Tabelle 1.

Tabelle 1. Absorption der Entladungen in Luft ($D = 8$ cm).

Druck cm Hg	Spannung Volt	Ausbreitungswahrscheinlichkeit
3	1040	1
5	1215	1
5,7	1307	0,77
6,9	1420	0,43
7,1	1439	0,40
7,9	1505	0,32
10,1	1658	0,26

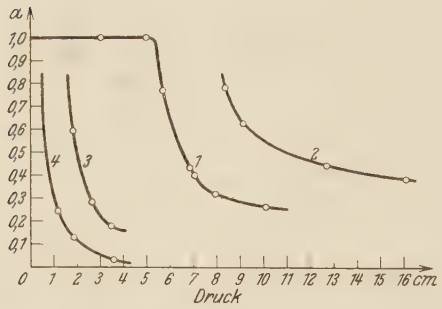

Fig. 3.

Absorption der Strahlung in Gasen. Kurve 1: Luft $D = 8$ cm, $V_d = 16$ Volt. Kurve 2: Luft $D = 4$ cm, $V_d = 17$ Volt. Kurve 3: Sauerstoff $D = 2{,}7$ cm, $V_d = 15$ Volt. Kurve 4: Sauerstoff $D = 8$ cm, $V_d = 10$ Volt.

Aus Tabelle 1 und Kurve 1 ist zu erkennen, daß bei $D = 8$ cm bis zu einem Druck von 5 cm Hg in Luft noch keine Absorption der Entladungen stattfindet. Trotzdem wird schon im horizontal verlaufenden Teil der Kurve eine beträchtliche Zahl der vom Zählrohr Z_2 ausgehenden Quanten im Gas absorbiert worden sein, denn es genügt eben zur Einleitung einer Entladung in Z_1, daß wenigstens *ein* Quant in dem zweiten Zählrohr licht-

elektrisch wirksam ist. Die Ausbreitung der Quanten über so weite Gasstrecken kann so verstanden werden, daß die Quanten in Resonanz absorbiert und wieder ausgestrahlt werden.

Es interessiert natürlich auch, festzustellen, in welcher Weise die Strahlung eines Gases in einem anderen Stoff (Celluloid) absorbiert wird. Ein diesbezüglicher Versuch — Zählrohrabstand $D = 2{,}7$ cm, Celluloidfolie 40 mμ Dicke — zeigte, daß in Sauerstoff bei 1,3 cm Hg und $V_d = 20$ Volt keine Entladungen sich ausbreiteten, die Quanten also vollständig in der Folie absorbiert wurden. Waren die Zählrohre unter sonst gleichen Bedingungen mit Luft gefüllt, so war $a = 0{,}26$, in Wasserstoff sogar $a = 1$, d. h. jede Entladung breitete sich von Z_2 nach Z_1 aus.

Zum Zwecke einer theoretischen Auswertung (s. § 8) wurde die Absorption der Wasserstoffstrahlung in Wasserstoff bei verschiedenen Drucken für einen Abstand $D = 15$ cm gemessen. Die Versuche ergaben, daß bei 13,6 cm Druck $a = 0{,}04$ und bei 8 cm Druck $a = 0{,}21$ war ($V_d = 12$ Volt).

Ferner wurden Absorptionsmessungen an der Wasserstoffstrahlung in Celluloid ausgeführt. Hierbei ist eine befriedigende Genauigkeit zu erreichen, weil die für die Versuche erforderlichen Absorptionsfolien in einem Dickenbereich liegen, in dem die Dicke aus den Interferenzfarben einigermaßen genau bestimmt werden kann, und dann weil die Absorption in dem Wasserstoffgas zurücktritt gegenüber der Absorption in der Celluloidfolie. Tabelle 2 enthält die gemessenen Werte. Dabei betrug V_d 37 Volt, der Wasserstoffdruck war 7 cm Hg und der Abstand der Zählrohre $D = 1{,}9$ cm. Die gewonnenen Zahlen werden in § 8 diskutiert.

Tabelle 2. Absorption in Celluloid.

Foliendicke cm	Ausbreitungswahrscheinlichkeit
$0{,}9 \cdot 10^{-5}$	1
$1{,}33 \cdot 10^{-5}$	0,9
$1{,}7 \cdot 10^{-5}$	0,41
$2{,}27 \cdot 10^{-5}$	0,08

§ 7. Die mittlere Energie der Elektronen in verschiedenen Entfernungen vom Zähldraht. Zur Beurteilung der Verhältnisse soll zunächst die Energie berechnet werden, die die Elektronen im Zählrohr auf einer freien Weglänge im Mittel aufnehmen können. Die Versuchsresultate seien: Normalschaltung, Wasserstoffüllung $p = 7$ cm Hg, Zählspannung 1214 Volt, $V_d = 37$ Volt. Unter der Voraussetzung, daß zwischen den zylinderförmigen Elektroden das elektrische Feld sich ungestört ausbildet und die mittlere freie Weglänge

der Elektronen aus den Wirkungsquerschnittskurven des Wasserstoffs[1]) entnommen werden darf, ergibt sich die in Fig. 4 gezeichnete Kurve, welche die Elektronenenergie pro freie Weglänge für die verschiedenen Abstände von der Drahtoberfläche wiedergibt.

Man ersieht aus Fig. 4, daß nur in unmittelbarer Nähe des Zähldrahtes die Elektronenenergie ausreicht, um durch Stoß das Molekül bzw. das Atom des Wasserstoffs anzuregen. Die ultravioletten Banden des Wasserstoffmoleküls (820 bis 1000 Å) und die Lymanserie des Atoms (1210 Å) können angeregt werden[2]). Diese Wellenlängen liegen aber gerade in dem Gebiet, das durch die Versuche in § 6 festgelegt wurde.

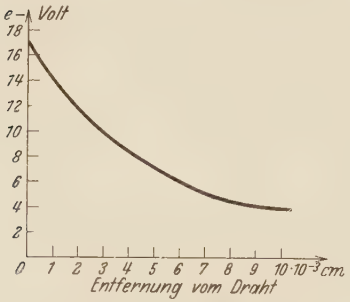

Fig. 4.
Mittlere Energie der Elektronen pro Weglänge in Abhängigkeit von der Entfernung von der Drahtoberfläche.

Fig. 5.
Zur Berechnung des Absorptionskoeffizienten.

§ 8. Theoretische Auswertung der Absorptionsmessungen. Bei den nun folgenden Berechnungen[3]) des Absorptionskoeffizienten sollen zunächst die Versuche mit dem Celluloidhäutchen berücksichtigt werden (Fig. 5). Vorausgesetzt wird dabei, daß im Gas selbst keine Absorption stattfindet und daß bei einer Entladung im Mittel N Quanten parallel zur Zählrohrachse vom einen Zählrohr aus in Richtung auf das zweite Zählrohr auf die Folie treffen. Es sei ferner d die Dicke der Folie, μ ihr totaler Absorptionskoeffizient für die Strahlung.

Trifft ein Quant auf die Folie, so ist $e^{-\mu d}$ die Wahrscheinlichkeit, daß es durch die Folie hindurchdringt, $1 - e^{-\mu d}$ ist die Wahrscheinlichkeit dafür, daß es absorbiert wird. Treffen N Quanten auf die Folie, so ist

[1]) E. Brüche, Ann. d. Phys. **82**, 912, 1927; **83**, 1065, 1927.
[2]) Handb. d. Exper.-Phys., 1. Ergänzungsband, S. 236, 1931.
[3]) Ich verdanke diese einer Unterredung mit Herrn Privatdozent Dr. H. Bethe.

$(1 - e^{-\mu d})^N$ die Wahrscheinlichkeit dafür, daß alle N Quanten in der Folie absorbiert werden.

$$w = 1 - (1 - e^{-\mu d})^N \tag{1}$$

ist daher die Wahrscheinlichkeit dafür, daß von den N Quanten eines oder mehrere die Folie durchdringen. Wird nun die weitere Voraussetzung gemacht, daß immer dann, wenn ein oder mehrere Quanten die Folie durchsetzen, im zweiten Zählrohr eine Entladung ausgelöst wird, so ist die Wahrscheinlichkeit w identisch mit der in den Versuchen gemessenen Ausbreitungswahrscheinlichkeit a.

Wenn unter sonst gleichen Bedingungen für zwei verschiedene Foliendicken die Wahrscheinlichkeiten w_1 und w_2 gemessen werden, gilt

$$\left.\begin{aligned} w_1 &= 1 - (1 - e^{-\mu d_1})^N, \\ w_2 &= 1 - (1 - e^{-\mu d_2})^N. \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

Die Absorption der Strahlung im Gas selbst kann berücksichtigt werden, wenn der Absorptionskoeffizient des Gases für die Strahlung bekannt ist. Wird zwischen die offenen Zählrohre eine Gasstrecke von D cm Länge eingeschaltet und beim Druck p (zugehörige Gasdichte ϱ) des Gases die Ausbreitungswahrscheinlichkeit w beobachtet, so gilt

$$w = 1 - \left(1 - e^{-\left(\frac{\mu}{\varrho_0}\right)\varrho\left(D + \frac{l_z}{2}\right)}\right)^N, \tag{3}$$

wo die halbe Länge eines Zählrohres zu dem Abstand D hinzugefügt ist ($l_z = 5{,}4$ cm), um die Absorption der Strahlung im Zählrohr selbst zu berücksichtigen. Analog wie aus (2) kann auch aus (3) durch zwei Messungen in einem Gas verschiedenen Druckes der Absorptionskoeffizient der Strahlung und die mittlere Zahl der Quanten bestimmt werden. Wenn der Absorptionskoeffizient des Gases durch eine derartige Messung bestimmt wird, kann μ für die Folie genauer festgelegt werden. Es ist nämlich dann statt (2) zu schreiben

$$\left.\begin{aligned} w_1 &= 1 - \left(1 - e^{-\mu d_1 - \left(\frac{\mu}{\varrho_0}\right)\varrho\left(D + \frac{l_z}{2}\right)}\right)^N, \\ w_2 &= 1 - \left(1 - e^{-\mu d_2 - \left(\frac{\mu}{\varrho_0}\right)\varrho\left(D + \frac{l_z}{2}\right)}\right)^N. \end{aligned}\right\} \tag{4}$$

Für die Werte $p_1 = 13$ cm, $w_1 = 0{,}04$; $p_2 = 8$ cm und $w_2 = 0{,}21$ (s. § 6) in Wasserstoff ergibt die Berechnung nach Elimination von N den Wert

$$\left(\frac{\mu}{\varrho_0}\right)_{H_2} = 1{,}6 \cdot 10^4 \text{ cm}^2/\text{g}.$$

Ferner folgt für $d_1 = 2{,}27 \cdot 10^{-5}$ cm, $w_1 = 0{,}08$; $d_2 = 1{,}33 \cdot 10^{-5}$ cm, $w_2 = 0{,}9$ für Celluloid (s. § 6, Tabelle 2) nach der Gleichung (4)

$$\left(\frac{\mu}{\varrho_0}\right)_Z = 3{,}5 \cdot 10^5 \text{ cm}^2/\text{g}.$$

Dabei kommt der Wasserstoffmessung größere Genauigkeit zu, weil die Voraussetzungen für die Rechnung eher als erfüllt gelten können als bei der Celluloidmessung.

Was die Genauigkeit der vorliegenden Messungen anlangt, so muß bemerkt werden, daß die oben gemachten Voraussetzungen für die Ableitung der Gleichung (2) experimentell nur annähernd erfüllt sind. Es gibt aber andere Fälle, bei denen sie sich genau erfüllen lassen, und daher auch der Absorptionskoeffizient bzw. die emittierte Quantenzahl nach der oben angegebenen Methode mit größerer Genauigkeit bestimmt werden können. Dies trifft beispielsweise zu bei einer Untersuchung der Strahlung, die bei der Zündung von Entladungen entsteht[1]). Hier dürfte die angegebene Untersuchungsmethode eine Klärung bringen.

Die gefundenen Werte für den Absorptionskoeffizienten lassen sich mit den Messungen von Holweck[2]), die mit einem gänzlich verschiedenen Verfahren ausgeführt worden sind, vergleichen. Er bestimmte die Absorption von Celluloid und verschiedenen Gasen im Ultraviolett und fand einen maximalen Absorptionskoeffizienten in Celluloid bei 320 Å von $1{,}04 \cdot 10^5$ cm^{-1}. Es besteht Übereinstimmung mit dem oben angegebenen Wert, soweit dies bei der Verschiedenheit der Veruchsanordnung und der Schwierigkeit solcher Messungen zu erwarten ist. Dies stützt aufs neue die angegebene Deutung für den Ausbreitungsvorgang.

Zusammenfassung. Es wird die Frage untersucht, ob bei den Entladungen in einem Zählrohr der Stromdurchgang in einem engbegrenzten Volumenteil erfolgt oder ob er größere Teile des Zählrohres erfüllt. Die Versuche hatten folgendes Ergebnis:

1. Bei jedem Stromstoß wird der ganze Innenraum des Zählrohres von der Entladung erfüllt (§ 3).

---

[1]) Siehe auch die Berechnung des Durchbruchspotentials nach Townsend in Handb. d. Exper.-Phys. XIII [3], S. 145, 1929. Durch die festgestellte Strahlung und die Messung ihrer Absorbierbarkeit kommt dem von Townsend angeführten Fall *C* eine besondere Bedeutung zu.

[2]) F. Hollweck, C. R. **172**, 439, 1921. Zusammenfassender Bericht: De la Lumière aux Rayons X, Paris 1927.

2. Die Ausbreitung der Entladungen wird von einer ultravioletten Strahlung bewirkt, die beim Entladungsvorgang entsteht (§ 5).

3. Durch Absorptionsmessungen wurden charakteristische Unterschiede der in verschiedenen Gasen erzeugten Strahlung festgestellt (§ 6).

4. Es wird gezeigt, wie mit Hilfe des Zählrohres der Absorptionskoeffizient einer extrem schwachen Ultraviolettstrahlung gemessen werden kann (§ 8).

Herrn Professor Dr. H. Geiger danke ich herzlich für die Anregung zu dieser Arbeit und für sein dauerndes förderndes Interesse. Zu danken habe ich auch Herrn Professor Dr. Gerthsen und Herrn Dr. Fesefeldt für mannigfache wertvolle Ratschläge.

Lebenslauf.

Ich, Emil Greiner, wurde als Sohn des Friedrich Greiner, Landwirt in Oßweil und seiner Ehefrau Karoline geb. Pfuderer am 25. November 1908 in Oßweil geboren. Nach Besuch der Volksschule in Oßweil und der Oberrealschule in Ludwigsburg begann ich das Studium der Mathematik und Physik im Sommer 1927 an der Techn. Hochschule Stuttgart. An den Universitäten in München und Tübingen setzte ich mein Studium fort und im Frühjahr 1931 schloß ich es mit der ersten Dienstprüfung für das Höhere Lehramt in Württemberg ab. Nach dem Referendarjahr an der Friedrich-Eugens-Oberrealschule in Stuttgart bestand ich die zweite Dienstprüfung. Im Jahr 1932 arbeitete ich im Physikalischen Institut Tübingen.